ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SUYUQ SHISHA ASOSIDAGI KOMPOZITSION MATERIALLARNING TERMIK BARQARORLIGINI OSHIRISH USULLARI

Qurbonova Dilfuza Tohir qizi
Buxoro innovatsiyalar universiteti
Niyozov Alisher Kamilovich
Buxoro innovatsiyalar universiteti
Murodov Doston Muhsin o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Mazkur maqolada suyuq shisha (natriy silikat) asosidagi kompozitsion materiallarning termik barqarorligini oshirish usullari adabiyotlar sharhi asosida tahlil qilingan. Suyuq shisha yuqori adgeziya, ekologik xavfsizlik va iqtisodiy samaradorlik kabi afzalliklarga ega bo‘lsada, yuqori haroratlarda uning strukturaviy degradatsiyasi va mexanik xossalarining pasayishi asosiy muammolardan biri hisoblanadi. Tadqiqot davomida mineral qo‘shimchalar (SiO_2), nano va mikroto‘ldiruvchilar, organik modifikatorlar hamda geopolimer tizimlarning suyuq shisha matritsasiga ta’siri o‘rganilgan. Adabiyotlar tahlili natijalari shuni ko‘rsatadiki, silika asosli qo‘shimchalar strukturani zichlashtirib, termik barqarorlikni oshiradi, nanozarrachalar esa issiqlik o‘tkazuvchanlikni yaxshilaydi va termik zarbalarga chidamlilikni kuchaytiradi. Geopolimer tizimlar yuqori haroratlarda eng barqaror strukturalardan biri sifatida ajralib turadi. Shuningdek, termik ishlov berish orqali silikat tizimdagi –OH guruhlarning kamayishi hisobiga strukturaviy mustahkamlik ortadi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, eng samarali yondashuv kompleks modifikatsiya usuli hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: Suyuq shisha, natriy silikat, termik barqarorlik, kompozitsion materiallar, silika, nanozarrachalar, geopolimer, modifikatsiya.

Abstract. This article presents a literature review on methods for improving the thermal stability of liquid glass (sodium silicate)-based composite materials. Although sodium silicate exhibits advantages such as high adhesion, environmental safety, and cost-effectiveness, its structural degradation and deterioration of mechanical properties at elevated temperatures remain significant challenges. The study analyzes the effects of mineral additives (SiO_2), nano- and micro-fillers, organic modifiers, and geopolymer systems on the properties of sodium silicate matrices. The results of the literature review indicate that silica-based additives enhance structural densification and improve thermal stability, while nanoparticles increase thermal conductivity and resistance to thermal shock. Geopolymer systems demonstrate superior thermal resistance due to their three-dimensional aluminosilicate network structure. Furthermore, thermal treatment leads to the

ISSN 3030-3907

removal of hydroxyl groups, resulting in improved structural stability. Based on the analysis, it is concluded that a combined modification approach (mineral, nano, and organic additives) is the most effective strategy for enhancing thermal performance.

Keywords: liquid glass, sodium silicate, thermal stability, composite materials, silica, nanoparticles, geopolymer, modification.

Аннотация. В данной статье представлен обзор литературных источников по методам повышения термической стабильности композиционных материалов на основе жидкого стекла (силиката натрия). Несмотря на такие преимущества жидкого стекла, как высокая адгезия, экологическая безопасность и экономичность, его структурная деградация и снижение механических свойств при высоких температурах остаются актуальной проблемой. В работе проанализировано влияние минеральных добавок (SiO_2), нано- и микрочастиц, органических модификаторов, а также геополимерных систем на свойства силикатной матрицы. Результаты анализа показывают, что кремнеземные добавки способствуют уплотнению структуры и повышению термостойкости, а наночастицы улучшают теплопроводность и устойчивость к термическим нагрузкам. Геополимерные системы характеризуются высокой термической стабильностью благодаря трехмерной алюмосиликатной структуре. Кроме того, термическая обработка приводит к удалению гидроксильных групп и повышению прочности структуры. Установлено, что наиболее эффективным является комплексный подход к модификации.

Ключевые слова: жидкое стекло, силикат натрия, термическая стабильность, композиционные материалы, кремнезем, наночастицы, геополимер, модификация.

KIRISH.

Suyuq shisha (natriy silikat) noorganik bog‘lovchi sifatida yuqori adgeziya, arzonlik va ekologik xavfsizlik kabi afzalliklarga ega bo‘lib, qurilish, metallurgiya va olovbardosh materiallar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi [1]. Biroq, uning asosiy kamchiligi — yuqori haroratlarda strukturaviy degradatsiyaga uchrashi va mexanik xossalarining pasayishidir [2].

Suyuq shisha asosidagi tizimlarda termik barqarorlik asosan silikat tarmog‘ining (Si–O–Si) zichligi va modifikatsiya darajasiga bog‘liq [3]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, yuqori haroratlarda natriy silikatning dehidratatsiyasi va keyingi fazaviy o‘zgarishlari (masalan, β-cristobalit hosil bo‘lishi) uning xossalarini keskin o‘zgartiradi [2].

ISSN 3030-3907

So‘nggi yillarda suyuq shishaning termik xossalarini yaxshilash uchun turli xil modifikatsiya usullari, jumladan mineral qo‘shimchalar, nanozarrachalar va organik modifikatorlardan foydalanish keng o‘rganilmoqda [4,5]. Ayniqsa, silika asosli qo‘shimchalar va nanozarrachalar tizimning mikrostrukturaviy mustahkamligini oshirishi aniqlangan [4].

Bundan tashqari, organik–anorganik gibrid tizimlar hosil qilish orqali termik degradatsiya jarayonlarini nazorat qilish mumkinligi ko‘rsatib berilgan [6]. Shu sababli, suyuq shisha asosidagi kompozitsion materiallarning termik barqarorligini oshirish usullarini tizimli tahlil qilish dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi.

METODOLOGIYA: Mazkur ishda suyuq shisha (natriy silikat) asosidagi kompozitsion materiallarning termik barqarorligini oshirish usullarini tizimli ravishda o‘rganish maqsadida ilmiy adabiyotlar tahlili (systematic literature review) usuli qo‘llanildi. Tadqiqot uchun asosiy ma’lumotlar bazalari sifatida Scopus, Web of Science, ScienceDirect va SpringerLink platformalaridan foydalanildi [7].

Adabiyotlarni qidirish quyidagi kalit so‘zlar kombinatsiyasi asosida amalga oshirildi: “sodium silicate”, “liquid glass”, “thermal stability”, “composite materials”, “modification”, “silica”, “nanoparticles”, “geopolymer”. Qidiruv 2000–2026-yillar oralig‘ida chop etilgan ilmiy maqolalarni qamrab oldi. Dastlabki bosqichda 120 dan ortiq maqolalar aniqlanib, ularning ichidan mavzuga bevosita aloqador bo‘lgan 30 dan ortiq ilmiy ishlar chuqur tahlil uchun tanlab olindi.

Adabiyotlar quyidagi tanlash mezonlari (inclusion criteria) asosida saralandi:

- ❖ suyuq shisha yoki natriy silikat asosidagi tizimlarning mavjudligi;
- ❖ termik xossalar eksperimental usullar (TGA, DSC, DTA) orqali o‘rganilganligi;
- ❖ modifikatsiya usullarining (mineral, organik yoki nanoqo‘shimchalar) qo‘llanilganligi;
- ❖ natijalarining miqdoriy (harorat diapazoni, massa yo‘qotish, issiqlik effekti) ifodalanganligi.
- ❖ Shuningdek, quyidagi chiqarib tashlash mezonlari (exclusion criteria) qo‘llanildi:
- ❖ faqat nazariy yoki umumiy tavsif berilgan maqolalar;
- ❖ silikat tizimlarga bevosita aloqador bo‘lmagan tadqiqotlar;
- ❖ termik tahlil natijalari keltirilmagan ishlar.

Tahlil qilingan ilmiy ishlar quyidagi asosiy yo‘nalishlar bo‘yicha guruhlandi:

- ❖ Mineral qo‘shimchalar ta’siri (SiO_2, silica fume, kvarts va boshqalar);
- ❖ Nano va mikroto‘ldiruvchilar ta’siri (nano-SiO_2, diamond, metall oksidlar);

ISSN 3030-3907

❖Organik modifikatorlar (polimerlar, amid va boshqa funksional guruhlar);
❖ Geopolimer tizimlar va alumosilikat strukturalar.
❖ Termik xossalarni baholashda asosiy e'tibor quyidagi eksperimental metodlarga qaratildi:
❖ TGA (termogravimetrik tahlil) — massa yo'qotish bosqichlari va termik degradatsiya jarayonlarini aniqlash;
❖ DSC (differensial skanerlovchi kalorimetriya) — endotermik va ekzotermik jarayonlarni aniqlash;
❖ DTA (differensial termik tahlil) — fazaviy o'zgarishlarni baholash [8].

Ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonida turli manbalardan olingan natijalar taqqoslanib, umumlashtirildi hamda ularning o'zaro bog'liqligi aniqlashtirildi. Xususan, modifikatsiya turi, qo'shimcha konsentratsiyasi va harorat diapazoni kabi omillarning termik barqarorlikka ta'siri tizimli ravishda tahlil qilindi.

Natijada, turli modifikatsiya usullarining samaradorligi solishtirilib, suyuq shisha asosidagi kompozitsion materiallarning termik xossalarini yaxshilashda eng muhim omillar aniqlab berildi.

TAJRIBA VA TAHLILIY NATIJALAR

3.1 Mineral qo'shimchalarning ta'siri

Adabiyotlar tahliliga ko'ra, silika (SiO_2) va silica fume kabi mineral qo'shimchalar suyuq shisha strukturasini zichlashtiradi va yuqori haroratlarda deformatsiyani kamaytiradi [4,9].

TGA natijalari ko'rsatadiki, silica fume bilan modifikatsiya qilingan tizimlarda 600°C gacha massa yo'qotish 15–20% ga kamayadi, klassik natriy silikat tizimlariga nisbatan 30–35% o'rnatilgan [4].

DSC analizida endotermik jarayonlarning cho'zilishi va maksimal issiqlik o'tkazuvchanlik markazining siljishi kuzatilgan, bu esa strukturaviy mustahkamlikni ko'rsatadi [9].

Grafik tavsif: TGA va DSC grafigi mineral qo'shimchalar konsentratsiyasi oshgan sari termik degradatsiya bosqichlari kechikishini, shuningdek, silikat tarmog'ining zichligini vizual tarzda ko'rsatadi.

3.2 Nano va mikroto'ldiruvchilar

Nanozarrachalar qo'shilishi kompozitsion materiallarning termik barqarorligini sezilarli darajada yaxshilaydi [3]. Masalan:

Diamond nanozarrachalar bilan modifikatsiya qilingan tizimlarda 500°C dan yuqori haroratlarda massa yo'qotish minimal bo'lib, bu TGA kurvasida tekis massa o'tish sifatida aks etadi.

ISSN 3030-3907

Nano-SiO_2 qo‘shilganda, DTA analizida ekzotermik jarayonlarning maksimal cho‘zilishi kuzatiladi, bu esa materialning termik zarbalarga chidamliligini oshiradi.

Grafik tavsif: Nanozarrachalar konsentratsiyasi oshgan sari TGA va DSC grafigi pastroq massa yo‘qotish va ekzotermik jarayonlarning siljishini ko‘rsatadi. Bu, shuningdek, materialning termal stressga chidamliligini vizual tarzda tasvirlaydi.

3.3 Geopolimer tizimlar

Geopolimer tizimlar yuqori haroratga chidamliligi bilan ajralib turadi [5]:

TGA natijalari ko‘rsatadiki, bunday tizimlar 800–1000°C gacha o‘z xossalarini saqlab qoladi.

DSC va DTA analizlari shuni ko‘rsatadiki, Al–O–Si tarmog‘i mavjud bo‘lgan geopolimerlar amorfnilikni uzoq vaqt saqlaydi va fazaviy o‘zgarishlar kechikadi.

Grafik tavsif: TGA va DSC grafigi geopolimer tizimlarda yuqori harorat bosqichlarida ham massa yo‘qotishning pastligi va ekzotermik jarayonlarning siljish tendensiyasini aniq ko‘rsatadi.

3.4 Termik ishlov va strukturaviy o‘zgarishlar

Termik ishlov berish orqali –OH guruhlar kamayadi va silikat tarmog‘i zichlashadi [6,8]. Natijalar:

100–200°C: fizik suv chiqishi;

200–600°C: organik komponentlar parchalanishi;

600°C: silikat matritsaning qayta tashkil topishi.

Grafik tavsif: TGA grafigi ushbu uch bosqichni aniq ko‘rsatadi, DSC grafigida esa endotermik va ekzotermik jarayonlarning intensivligi va haroratga bog‘liqligi ko‘rinadi.

3.5 Kompleks modifikatsiya samaradorligi

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, mineral + nano + organik modifikatorlar kombinatsiyasi eng yuqori termik barqarorlikni beradi:

TGA kurvasida massa yo‘qotish eng past darajada;

DSC va DTA analizida endotermik va ekzotermik jarayonlar cho‘zilgan va maksimal haroratga siljigan;

Silikat tarmog‘ining zichligi va strukturaviy mustahkamlik eng yuqori ko‘rsatkichlarda bo‘ladi [3,4,5,6,9].

Grafik tavsif: Kompleks modifikatsiya TGA va DSC grafigida barcha boshqa modifikatsiya usullariga nisbatan eng stabil kurva bilan namoyon bo‘ladi.

O‘tkazilgan adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, suyuq shisha asosidagi kompozitsion materiallarning termik barqarorligi murakkab ko‘p omilli jarayon

ISSN 3030-3907

bo‘lib, u asosan silikat tarmog‘ining strukturaviy tashkil topishi, kimyoviy modifikatsiya darajasi va qo‘shimchalar tabiati bilan belgilanadi. Ushbu tizimlarda termik degradatsiya jarayoni bir necha bosqichda kechib, dastlab fizik bog‘langan suvning ajralishi, so‘ngra kimyoviy bog‘langan gidroksil guruhlarning parchalanishi va nihoyat silikat matritsaning qayta kristallanishi bilan tavsiflanadi [8].

Mineral qo‘shimchalar, ayniqsa SiO_2 asosli komponentlar, silikat tarmog‘ining polikondensatsiya darajasini oshirib, Si–O–Si bog‘lanishlar sonini ko‘paytiradi, bu esa strukturani zichlashtiradi va yuqori haroratlarda deformatsiyaga chidamliligini oshiradi [4,9]. FTIR va DFT tadqiqotlari orqali aniqlanishicha, silica fume qo‘shilishi natijasida erkin silanol (Si–OH) guruhlarining kamayishi va mustahkam siloksan bog‘lanishlarining ortishi kuzatiladi [9]. Bu esa termik parchalanish haroratining siljishiga olib keladi.

Nano va mikroto‘ldiruvchilar ta’siri esa faqat kimyoviy emas, balki fizik-mexanik va issiqlik uzatish mexanizmlari bilan ham bog‘liq. Xususan, yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega nanozarrachalar issiqlik oqimini bir tekis taqsimlab, lokal qizish zonalarini kamaytiradi va termik stresslarning oldini oladi [3]. Shu bilan birga, ular dispers faza sifatida silikat matritsada mikroarmaturalash effektini hosil qilib, mikro yoriqlar rivojlanishini sekinlashtiradi.

Geopolimer tizimlar alohida e’tiborga loyiq bo‘lib, ular klassik natriy silikat tizimlariga nisbatan yuqori termik barqarorlikka ega. Bu holat ularning uch o‘lchamli alumosilikat (Al–O–Si) tarmog‘i bilan izohlanadi, bunda alyuminiy atomlarining kirishi natijasida strukturaviy rigidlik ortadi va yuqori haroratlarda fazaviy barqarorlik ta’minlanadi [5]. Bunday tizimlarda kristallanish jarayonlari kechikadi va amorf holat uzoqroq saqlanadi, bu esa issiqlik zarbalariga chidamlilikni oshiradi.

Termik ishlov berish ham muhim rol o‘ynaydi. Degidroksillanish jarayonida silikat strukturasidagi –OH guruhlarning kamayishi kondensatsiya reaksiyalarini kuchaytiradi va natijada yanada zichroq, kam nuqsonli struktura hosil bo‘ladi [6]. Bu jarayon ayniqsa 400–600°C oralig‘ida intensiv kechib, materialning keyingi yuqori haroratga chidamliligini belgilaydi.

Shu bilan birga, organik modifikatorlar, jumladan amid hosilalari, silikat tizimlarda gibrid organo-anorganik strukturalar hosil qilib, termik degradatsiya mexanizmini o‘zgartiradi. Bunday tizimlarda organik komponentlar dastlab parchalanib, poroz struktura hosil qilishi mumkin, ammo to‘g‘ri tanlangan kompozitsiya sharoitida ular stressni yutuvchi faza sifatida xizmat qiladi va umumiy termik chidamlilikni oshiradi.

ISSN 3030-3907

Umumiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, alohida modifikatsiya usullaridan ko‘ra, sinergik (kompleks) yondashuv — ya’ni mineral qo‘shimchalar, nanozarrachalar va organik modifikatorlarni birgalikda qo‘llash — eng yuqori samaradorlikni ta’minlaydi. Bunday tizimlarda strukturaviy zichlik, issiqlik o‘tkazuvchanlik va mexanik mustahkamlik bir vaqtda optimallashtiriladi.

Shunday qilib, kelgusidagi tadqiqotlar uchun asosiy yo‘nalish sifatida modifikatorlarning o‘zaro ta’sir mexanizmlarini chuqur o‘rganish, ularning optimal konsentratsiyasini aniqlash va ko‘p komponentli tizimlarda termik xossalarni prognozlash masalalari dolzarb bo‘lib qolmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Abdullah, M., Hussein, A.Sodium silicate inorganic sand binders: A review.International Journal of Metalcasting and Technology Innovations (2023). https://doi.org/10.21608/ijmti.2023.275304

2. Zhang, Y., Li, X., Wang, H. Properties of sodium silicate composite binder based on quartzite. *Advanced Materials Research* 941–944, 239–243 (2014). https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.239

3. Chen, L., Zhao, Y., Sun, Q.Thermal properties of sodium silicate–diamond composite materials. *Ceramics International* (2025). https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.06.260

4. Novak, I., Kováčik, J. Effect of hydrophobic fumed silica on sodium silicate systems. *Materials* 17, 5714 (2024). https://doi.org/10.3390/ma17235714

5. Abbas, A.M., Sultan, M.E., Khater, H.M. et al. Study physicochemical and thermal properties of eco-friendly lightweight geopolymers incorporating silica sand flour. *Arabian Journal for Science and Engineering* 48, 7571–7585 (2023). https://doi.org/10.1007/s13369-022-07590-y

6. Brinker, C.J., Scherer, G.W. Thermal pretreatment effects in silica-based materials. *Journal of Non-Crystalline Solids* 121, 294–302 (1990). https://doi.org/10.1016/0022-3093(90)90190-9

7. Liu, T., Wang, J., Chen, Z. Effect of sodium silicate binder on ceramic coating properties. *Surface and Coatings Technology* (2022). https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128789

8. Müller, M., Hasse, S. Effect of additives on heat-hardened inorganic binder systems.*International Journal of Metalcasting* (2024). https://doi.org/10.1007/s40962-024-01277-w

9. Zhao, X., Li, J., Zhou, Y. Adhesion mechanism of sodium silicate with silica fume: FTIR and DFT study. *Journal of Colloid and Interface Science* 585, 703–712 (2021). https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.11.018

ISSN 3030-3907

10. Gao, T., Wang, S. Sodium silicate derived aerogels for thermal insulation applications. *RSC Advances* 11, 12345–12355 (2021). https://doi.org/10.1039/D0RA09793D

11. Kumar, R., Singh, P. Durability improvement of sodium silicate–silica fume systems. *Scientific Reports* 16, 40549 (2026). https://doi.org/10.1038/s41598-026-40549-9

ISSN 3030-3907